

# 不同热处理和贮存条件对调和油品质的影响

王振杰, 赵雷, 薛鹏, 张丰香

(潍坊医学院公共卫生与管理学院, “健康山东”重大社会风险预测与治理协同创新中心, 山东潍坊 261053)

**摘要:** 利用油脂酸价 (Acid value, AV)、过氧化值 (Peroxide value, POV)、脂肪酸组成及流变特性, 研究不同处理条件对油脂品质的影响。不同处理条件下, AV 与 POV 均随时间延长而升高。200 °C 以上高温烹调和光照贮存的油脂 AV 和 POV 分别高于微波处理和高温贮存组, 并随烹饪温度和光照的增加而迅速增加, 最高分别达到 1.17 mg/g 与 22.75 mmol/kg; 处理时间和温度、热处理方式与光照对脂肪酸含量都有影响, 变化趋势不尽相同。高温长时间处理使油酸和亚油酸含量降低, 300 °C 处理 20 min, 含量从 38.94% 和 31.46% 降为 37.76% 和 30.53%, 而亚麻酸的含量由 0.26% 增加至 0.28%, EPA 和 DHA 多不饱和脂肪酸的含量也有增加。高温和光照条件下长时间储存, 以上不饱和脂肪酸含量均降低; 不同处理后的油脂流变学特性不随剪切力的改变而改变, 200 °C 以上高温烹调和微波组的油脂粘度随处理时间的增加, 呈先降低后增加趋势, 贮存组的油脂粘度随处理时间的延长而一直呈现增加趋势。

**关键词:** 油脂; 氧化; 脂肪酸; 流变特性

文章编号: 1673-9078(2019)02-193-201

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.2.027

## Effects of Different Heat Treatments and Storage Conditions on Quality of Blend Oil

WANG Zhen-jie, ZHAO Lei, XUE Peng, ZHANG Feng-xiang

(College of Public Health and Management of Weifang Medical University, Major Social Risk Prediction and Governance Collaborative Innovation Center of “Healthy Shandong”, Weifang 261053, China)

**Abstract:** The effects of different treatment conditions on oil quality were studied by using acid value (AV), peroxide value (POV), fatty acid composition and rheological properties. Under different treatment conditions, both AV and POV showed an increasing trend with time. The AV and POV of the high temperature cooking group and the light storage group above 200 °C were higher than those of the microwave treatment group and the high temperature storage group, respectively. With the increase of cooking temperature and illumination, the AV and POV increased rapidly, and their highest values were reached under the processing conditions, 1.17 mg/g and 22.75 mmol/kg, respectively; treatment time and treatment temperature, heat treatment method and light had an effect on fatty acid content, and the change trend was not nearly the same. Long-term treatment at high temperature reduced the content of oleic acid and linoleic acid. After treatment at 300 °C for 20 min, the content of oleic acid and linoleic acid decreased from 38.94% and 31.46% to 37.76% and 30.53%, respectively, while the content of linolenic acid increased from 0.26% to 0.28%, and the content of EPA and DHA polyunsaturated fatty acids also increased. For the long-term storage under high temperature and light conditions, the above unsaturated fatty acid content was reduced; the rheological properties of the oil after different conditions were not changed with the change of shear force for the high temperature cooking group and the microwave group above 200 °C. The viscosity of fat increased with the increase of treatment time, and then decreased. The viscosity of the oil in the storage group increased with the treatment time.

**Key words:** oil; oxidation; fatty acid; rheological properties

油脂是烹饪加工中不可缺少的重要的原、辅料, 不仅在烹调时可以赋予食物特殊的色、香、味, 有着增进美观和促进食欲的作用, 更在人群健康及生命质

收稿日期: 2018-09-15

基金项目: 山东省自然科学基金项目 (ZR2014CP004)

作者简介: 王振杰 (1995-), 男, 本科, 食品质量与安全

通讯作者: 张丰香 (1982-), 女, 副教授, 博士研究生, 研究方向: 蛋白及功能性多肽

量的提高中发挥着极其重要的作用, 其适量摄入对满足机体生理需要, 促进维生素 A、维生素 E 等脂溶性维生素的吸收和利用发挥着重要作用。随着人民生活水平以及对食品安全关注度的不断提高, 对食用油脂的品质要求也越来越高。植物调和油脂由于混合了多种植物油, 营养更加均衡, 且价格适中, 受到广大消费者的喜爱。目前, 有大量的实验研究表明<sup>[1-2]</sup>, 在推荐油脂摄入量条件下, 相对于食用单一油脂, 将各类

油脂搭配食用能显著提高油脂的生理学功能、减轻氧化损伤；食用脂肪酸比例符合中国居民摄入习惯的调和油，对于减少心血管疾病和癌症的发生具有重要意义。但植物油脂因为含有大量的不饱和脂肪酸，在其贮存和加工过程中容易发生氧化，而氧化酸败后的油脂品质大为下降。食用严重氧化酸败的油脂对人体的消化系统、肝脏、心脏等器官组织会造成严重损害；食用油脂的安全问题主要来源于工业油脂、泔水油、煎炸油等劣质油违规用于食品加工，以及在贮存、食用过程中发生氧化酸败导致的<sup>[3-4]</sup>。

因此本实验选取家庭食用植物调和油的加工及贮存中经常用到的处理方式，对调和油进行不同的贮存级烹调处理，并对该过程中调和油的氧化特性、脂肪酸组成以及流变特性进行研究，为油脂生产、贮藏、运输、经营及烹调食用过程中选择合理、绿色的处理方式提供依据，同时也为油脂烹调加工中品质保证的关键控制点的设置提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料与试剂

材料：某调和油；试剂：正己烷、甲醇、37种脂肪酸甲酯混标为色谱纯试剂；氢氧化钾(固体)、NaOH 滴定溶液标准物质、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  标准溶液为分析纯试剂。

### 1.2 主要仪器与设备

HP-88 氰丙基色谱柱，美国 Agilent 科技有限公司；赛默飞 TRACE-1300 气相色谱仪、FID 检测器，美国赛默飞世尔科技有限公司；TGL-15B 离心机，上海安亭科学仪器厂；DISCOVERY HR-1 动态剪切流变仪 (DSR)，上海卓致力天仪器设备有限公司；微波炉，顺德区美的微波电器制造有限公司；JA3103 型精密电子天平，上海精密科学仪器有限公司；电热恒温培养箱 DHP-9162，无锡玛瑞特科技有限公司。

### 1.3 试验测定方法

#### 1.3.1 样品的处理条件

根据油脂烹调与贮藏习惯，将调和油混匀后分组，进行以下处理：

空白对照组：避光常温保存原油，平行样 2 份。

高温烹调组：样品在 100 °C、200 °C、300 °C 烹调温度下分别烹调 5 min、10 min、15 min、20 min，收集样品点数 12 个，每个采集点做平行样 2 份。

微波加热组：将样品使用 50 Hz、输出功率 700 W 的微波炉加热 5 min、10 min、15 min、20 min，收集

样品点数 4 个，每个采集点做平行样 2 份。

贮存组：又分为高温贮存组和光照贮存组。样品分别放置在 45 °C 恒温培养箱与自然光照条件下分别处理 14 d、28 d、42 d，每天开瓶摇匀一次，收集样品点数 6 个，每个采集点做平行样 2 份。

按照以上分组处理及样品采集设计，共采集样品 46 份。

#### 1.3.2 酸价(acid value, AV)的测定<sup>[5]</sup>

将采集的 46 份样品，按《GB 5009.229-2016 食品安全国家标准 食品中酸价的测定》冷溶剂指示剂滴定法规定执行。

#### 1.3.3 过氧化值(peroxide value, POV)的测定<sup>[6]</sup>

将采集的 46 份样品，按《GB 5009.227-2016 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》滴定法规定执行，避免在阳光直射下进行测定，并尽可能避免带入空气。

#### 1.3.4 脂肪酸(fatty acids, FA)种类与含量的测定

##### 1.3.4.1 脂肪酸甲酯化

将采集的 46 份样品分别称取 100.00 mg 到 20.00 mL 离心管(带螺口盖)，使样品溶于 10.00 mL 正己烷，加入 100.00  $\mu\text{L}$  2N 氢氧化钾甲醇溶液(100.00 mL 甲醇中 11.20 g KOH)，盖上螺口盖，涡旋混匀后 5000 r/min 离心 5 min，取上清液 1.00 mL 于上机小瓶中，气相色谱法检测脂肪酸种类与含量。

##### 1.3.4.2 色谱条件

检测器：FID 检测器；色谱柱：100.00 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.20  $\mu\text{m}$ ；柱温：120 °C~230 °C 程序性升温，进样口温度：250 °C，检测器温度：280 °C；进样口压力：145.87 kPa； $\text{H}_2$  流量：40.00 mL/min；空气流量：450.00 mL/min；柱流量：2.00 mL/min；载气尾吹流量：30.00 mL/min；进样量：1.00  $\mu\text{L}$ 。

##### 1.3.4.3 测定方法<sup>[7]</sup>

将采集的 46 份样品，采用气相色谱仪根据 37 种脂肪酸甲酯标准曲线，按《GB 5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》归一化法规定执行。

#### 1.3.5 流变特性的测定<sup>[8]</sup>

对不同处理条件下的 23 份油脂样品采用动态剪切流变仪 (DSR) 进行流变性能测试，选用 40.00 mm 的平行转子，测试模式为 Flow Ramp，测试间距为 500  $\mu\text{m}$ ，剪切速率 0.10~100.00  $\text{s}^{-1}$ ，测试时间为 300 s；采取线性方式取点进行数据采集，采集点数为 60；每次测量前校正仪器；加样时保持试样均匀性，避免挤压出现气泡；当转至修边高度时，小心移除多余的试样，

从而避免边际效应干扰。在采集数据时,分别测定每份样品在 5、25、40 °C 操作台条件下的流变特性数据。

### 1.4 数据分析方法

Excel 2013 绘制变化趋势图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同加热方式及贮存条件对调和油 AV 的影响

将调和油在 100 °C、200 °C、300 °C 以及 50 Hz 微波条件下处理不同的时间,在这过程中 AV 的变化情况见图 1。AV 均随加热时间的不断延长而呈现不同程度的增长,其中,100 °C、200 °C、300 °C 加热处理曲线在 10 min 时间点处呈现平缓上升趋势,且烹饪温度越高,AV 越大。相较于高温烹调,家庭微波加热处理 AV 较小。

将调和油放在室外光照及 45 °C 恒温避光贮存,AV 随保存时间的变化见图 2。在模拟油脂贮藏条件:高温与自然光照两个因素时,AV 亦均随时间的延长而呈现不同幅度的增长,但自然光照影响较高温贮存显著。

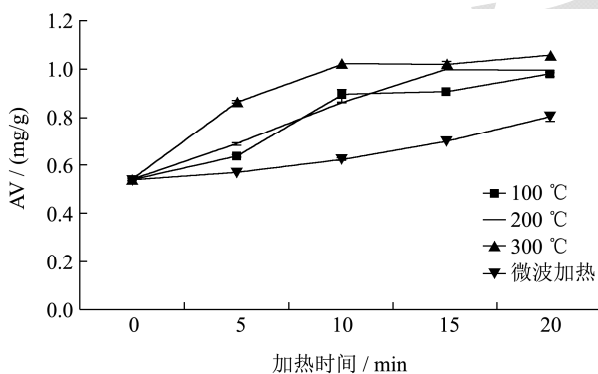


图 1 AV 随加热时间变化曲线

Fig.1 Changes of AV with heating time

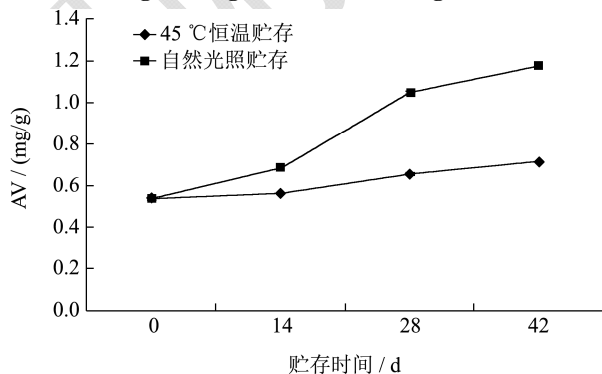


图 2 AV 随贮存时间变化曲线

Fig.2 Curve of AV with storage time

### 2.2 不同加热方式及贮存条件对调和油 POV 的影响

将调和油在 100 °C、200 °C、300 °C 以及 50 Hz 微波条件下处理不同的时间,在这过程中 POV 值的变化情况见图 3。POV 均随加热时间的不断延长而呈现不同程度的增长,其中,200 °C 加热处理曲线在 10 min 时间点处呈现快速上升趋势,300 °C 加热处理曲线则在 5 min 时间点处呈现急剧上升趋势,并在 15 min 时间点处增长速度有所平缓,且烹饪温度越高,POV 越大。相较于高温烹调,微波加热处理 POV 较小,但比 100 °C 加热要大。

将调和油放在室外光照及 45 °C 恒温避光贮存,POV 随贮存时间的变化见图 4。在模拟油脂贮藏条件:加热与自然光照两个因素时,POV 亦均随时间的延长而呈现不同幅度的增长,但自然光照影响较高温贮存显著。这与付定平等<sup>[9]</sup>的研究结果相一致,油脂 POV 和 AV 的检测结果受环境温度条件影响程度显著,且随储藏时间的延长逐渐增加。

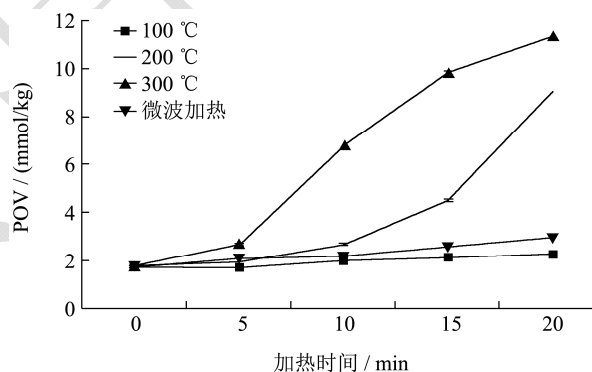


图 3 POV 随加热时间变化曲线

Fig.3 Curve of POV with heating time

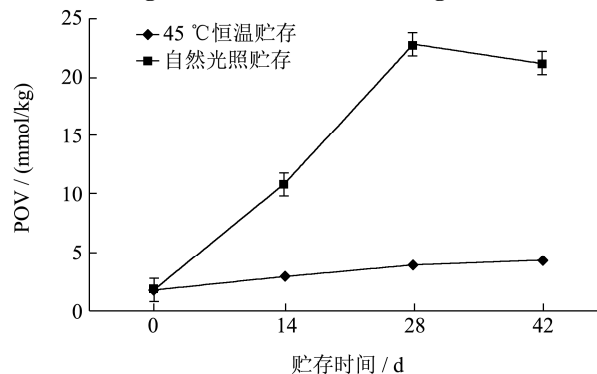


图 4 POV 随贮存时间变化曲线

Fig.4 Curve of POV vs. storage time

此外,油脂 POV 经自然光照贮存后呈现先升高后下降的趋势,原因可能是:(1)脂肪酸可能发生了聚合反应,形成碳-碳、碳-氧-碳连接的大分子聚合物,

产生氢过氧化物的基质(如游离脂肪酸以及不饱和脂肪酸成分)减少,氢过氧化物的生成量减少;(2)氢过氧化物不稳定,容易继续氧化分解,生成醛、酮、酸等二级氧化产物分解产生了氧化次级产物,反应向着分解氢过氧化物的方向进行,因此氢过氧化物的生成速率低于其分解速率<sup>[10,11]</sup>。

### 2.3 不同加热方式及贮存条件对调和油脂肪

#### 酸含量影响

为了研究不同处理方式对油脂脂肪酸的影响,采用气相色谱法对不同处理后的调和油中脂肪酸种类及含量依据 37 种脂肪酸甲酯混标定性定量分析。

利用气相色谱法从调和油中检出 15 种脂肪酸,所检样品中脂肪酸种类、名称及编号见表 1,脂肪酸的百分含量见表 2。

表 1 所检样品中脂肪酸种类、名称及编号

Table 1 Types, names, and numbers of fatty acids in the samples examined

英文序号	脂肪酸简称	中文名称	俗称
A	C13:0	十三碳酸	-
B	C14:1	顺-9-十四碳一烯酸	肉蔻油酸
C	C15:1	顺-10-十五碳一烯酸	-
D	C16:1	顺-9-十六碳一烯酸	棕榈油酸
E	C17:0	十七碳酸	-
F	C17:1	顺-10-十七碳一烯酸	-
G	C18:1n9t	反-9-十八碳一烯酸	反油酸
H	C18:1n9c	顺-9-十八碳一烯酸	油酸
I	C18:2n6c	顺, 顺-9,12-十八碳二烯酸	亚油酸
J	C18:3n6	顺, 顺, 顺-6,9,12-十八碳三烯酸	$\gamma$ -亚麻酸
K	C21:0	二十一碳酸	-
L	C22:1n9	顺-13-二十二碳一烯酸	顺芥子酸
M	C24:0	二十四碳酸	-
N	C20:5n3	顺-5,8,14,17-二十碳五烯酸	EPA
O	C22:6n3	顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸	DHA

通过与原油对比可以发现,经过不同的处理后,油脂中各脂肪酸含量都发生了一定的变化,处理时间和处理温度、热处理方式以及光照对脂肪酸含量都有影响。不同温度下,相同的处理时间范围,同种脂肪酸含量的变化规律也不尽相同。如 C13:0,在 100 °C、200 °C、300 °C 以下分别处理 5、10、15、20 min 时,脂肪酸含量随处理时间的变化趋势是不同的;当处理时间相同时,同种脂肪酸含量随处理温度的变化趋势也是不同的。但在 300 °C 温度处理时,脂肪酸 C13:0 的含量随处理时间的增加,呈现下降趋势。

李一凡等<sup>[12]</sup>也研究发现油温低于 120 °C 加热不会对其中的脂肪酸造成显著影响;高于 160 °C 时,随着温度升高脂肪酸组成和含量变化显著。魏小豹<sup>[13]</sup>等人的研究亦指出从营养角度富含不饱和脂肪酸的油脂不适合用于高于 180 °C 的高温煎炸等烹调方式。结合本实验的研究结果说明油脂中脂肪酸的百分含量受温

度及处理时间的影响显著,但变化没有呈现一致的规律性。丁俭<sup>[14]</sup>等提出通过监测脂肪酸变化规律判断油脂的氧化程度,指出脂肪酸比例变化可以作为预判油脂氧化的参数,可以简化检测指标的复杂过程和不准确性,但目前对于处理过程中脂肪酸的比例变化与氧化程度的关系还没有明确。通过本实验结果也可以看出,影响脂肪酸含量的因素太多,要想明确脂肪酸的含量变化规律与氧化程度的关系是非常困难的,需要严格的设定和控制实验条件,选取合适的检测脂肪酸。

从营养学角度看,高温长时间处理会使油酸和亚油酸含量降低,如 300 °C 处理 20 min,油酸和亚油酸的含量分别从 38.94% 和 31.46% 降为 37.76% 和 30.53%,而亚麻酸的含量由 0.26% 增加至 0.28%,EPA 和 DHA 多不饱和脂肪酸的含量也是增加的。而在高温和光照条件下长时间储存,以上不饱和脂肪酸含量都是降低的。

表2 所检样品中各脂肪酸的百分含量

Table 2 Percentage of each fatty acid in the sample tested / %

英文代号	原油	脂肪酸百分含量/%											
		100 °C				200 °C				300 °C			
		5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min	5 min	10 min	15 min	20 min
A	0.26±0.00	0.25±0.00	0.25±0.00	0.24±0.00**	0.23±0.00**	0.23±0.00**	0.26±0.00	0.24±0.00**	0.25±0.00	0.25±0.00	0.25±0.00	0.24±0.00**	0.23±0.00**
B	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.05±0.00*	0.04±0.00	0.05±0.00*	0.05±0.00*	0.05±0.00*	0.05±0.00*	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00
C	0.04±0.00	0.04±0.00	0.05±0.00*	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00
D	14.49±0.00	14.90±0.00**	14.90±0.00	14.90±0.00**	14.91±0.00**	14.90±0.00**	14.90±0.00**	14.91±0.00**	14.91±0.00**	14.90±0.00**	14.90±0.00**	14.91±0.00**	14.98±0.00
E	0.16±0.00	0.17±0.00**	0.15±0.00**	0.17±0.00**	0.15±0.00**	0.15±0.00**	0.26±0.00**	0.16±0.00	0.16±0.00	0.15±0.00**	0.16±0.00	0.16±0.00	0.15±0.00**
F	11.83±0.01	11.67±0.11	11.81±0.08	11.91±0.05	11.83±0.02	11.92±0.01	11.93±0.05	12.08±0.07*	11.95±0.02	11.95±0.02	11.87±0.00	11.88±0.01	12.02±0.11
G	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.29±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00
H	38.94±0.00	38.46±0.00**	38.43±0.00**	38.19±0.00**	38.08±0.00**	38.94±0.00	38.93±0.00*	38.76±0.00**	38.67±0.00**	38.94±0.00	38.92±0.00*	37.92±0.00**	37.76±0.00**
I	31.46±0.00	31.45±0.00**	31.45±0.00**	31.45±0.00**	31.44±0.00**	31.45±0.00**	31.44±0.00**	31.43±0.00**	31.43±0.00**	31.46±0.00	31.44±0.00**	31.41±0.00**	30.53±0.50**
J	0.26±0.00	0.26±0.00	0.26±0.00	0.26±0.00	0.26±0.00	0.27±0.00**	0.26±0.00	0.26±0.00	0.26±0.00	0.26±0.00	0.25±0.00*	0.25±0.00*	0.28±0.00**
K	1.32±0.00	1.30±0.02	1.35±0.00	1.36±0.01**	1.32±0.00	1.33±0.01	1.36±0.00**	1.39±0.00**	1.36±0.00**	1.36±0.00**	1.35±0.00	1.34±0.01	1.33±0.01
L	0.19±0.01	0.17±0.00	0.16±0.00*	0.17±0.00	0.16±0.00*	0.17±0.00	0.15±0.01*	0.18±0.00	0.16±0.00*	0.17±0.00	0.16±0.00*	0.17±0.00	0.18±0.00
M	0.05±0.00	0.05±0.00	0.06±0.00	0.03±0.00**	0.03±0.00**	0.03±0.00**	0.04±0.00	0.03±0.00**	0.06±0.00**	0.05±0.00	0.04±0.00	0.05±0.00	0.13±0.01**
N	0.63±0.00	0.71±0.01**	0.63±0.00	0.57±0.00**	0.60±0.00**	0.59±0.00**	0.60±0.00**	0.63±0.00	0.66±0.01**	0.62±0.00	0.65±0.00*	0.67±0.01**	0.74±0.01**
O	0.31±0.00	0.29±0.00**	0.32±0.00	0.30±0.00*	0.35±0.00**	0.32±0.00	0.29±0.00**	0.33±0.00**	0.34±0.00**	0.31±0.00	0.34±0.00**	0.32±0.00	0.37±0.00**

英文代号	脂肪酸百分含量/%									
	微波加热				45 °C 恒温贮存			自然光照贮存		
	5 min	10 min	15 min	20 min	14 d	28 d	42 d	14 d	28 d	42 d
A	0.23±0.00**	0.23±0.00	0.26±0.00**	0.23±0.00**	0.25±0.00	0.18±0.00**	0.21±0.00**	0.24±0.00**	0.17±0.00**	0.20±0.00**
B	0.04±0.00	0.04±0.00	0.05±0.00*	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.03±0.00*	0.04±0.00	0.03±0.00*	0.03±0.00*
C	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.03±0.00*	0.03±0.00*	0.04±0.00	0.03±0.00*	0.03±0.00*
D	14.90±0.00**	14.90±0.00**	14.91±0.00**	14.92±0.00**	14.89±0.00**	14.89±0.00**	14.93±0.00**	14.90±0.00**	14.93±0.00**	14.96±0.00**
E	0.16±0.00	0.15±0.00**	0.16±0.00	0.16±0.00	0.16±0.00	0.16±0.00	0.14±0.00**	0.16±0.00	0.15±0.00**	0.68±0.55**
F	11.84±0.03	11.90±0.13	11.90±0.07	11.93±0.07	11.81±0.00	11.70±0.03**	11.57±0.00**	11.83±0.00	11.42±0.00**	10.65±0.06**
G	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00
H	38.94±0.00	38.94±0.00	38.90±0.00*	38.84±0.00**	38.91±0.00*	38.76±0.00**	38.66±0.00**	38.93±0.00	38.87±0.00**	38.60±0.00**
I	31.46±0.00	31.46±0.00	31.45±0.00*	31.45±0.00*	31.46±0.00	31.45±0.00*	31.41±0.00**	31.45±0.00*	31.42±0.00**	31.31±0.00**

转下页

接上页

J	0.27±0.00*	0.30±0.00**	0.53±0.00**	0.70±0.00**	0.26±0.00	0.29±0.00**	0.23±0.00**	0.27±0.00*	0.29±0.00**	0.16±0.00**
K	1.35±0.00*	1.32±0.00	1.31±0.01	1.29±0.01	1.32±0.00	1.31±0.00	1.30±0.00*	1.31±0.00	1.29±0.00*	1.18±0.01**
L	0.17±0.00	0.16±0.00*	0.18±0.00	0.17±0.00	0.19±0.00	0.18±0.00	0.18±0.00	0.19±0.00	0.18±0.00	0.16±0.00*
M	0.08±0.00**	0.06±0.00	0.06±0.00	0.03±0.00**	0.05±0.00	0.23±0.19**	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00
N	0.63±0.00	0.65±0.00*	0.66±0.00**	0.64±0.00	0.63±0.00	0.59±0.00**	0.64±0.00	0.63±0.00	0.60±0.00**	0.50±0.00**
O	0.34±0.00**	0.33±0.00**	0.33±0.00**	0.33±0.00**	0.30±0.00*	0.29±0.00**	0.27±0.00**	0.30±0.00*	0.27±0.00**	0.24±0.00**

## 2.4 调和油的流变特性分析

为研究不同处理方式下, 油脂样品的流变特性, 采用 DISCOVERY HR-1 动态剪切流变仪 (DSR) 对油脂的流变特性进行了测定。

### 2.4.1 未经处理的调和油的流变学特性

未经处理的调和油粘稠度随环境温度的变化见图 5。当温度在 0 °C、25 °C、40 °C 时, 调和油的粘度分别为: 0.13 Pa·s、0.05 Pa·s、0.03 Pa·s, 在不同的温度条件下, 调和油的粘度是不一样的, 随着温度的升高, 油脂粘度降低; 在一定温度下, 调和油的粘度不随剪切速率的变化而发生改变。

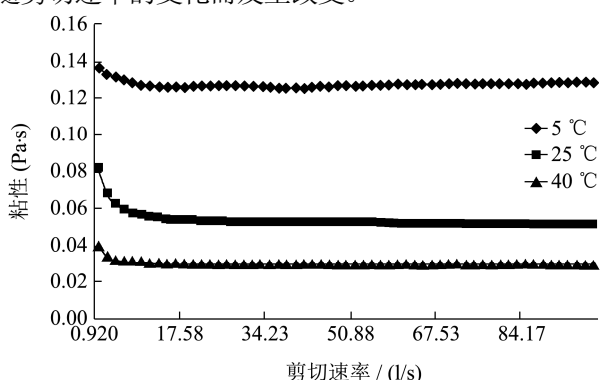


图 5 不同温度条件下调和油的流变学特性

Fig.5 Rheological properties of plant blend oil at different temperatures

### 2.4.2 热处理对调和油流变特性的影响

依据 2.4.1 的实验结果, 选择在 25 °C 测定经不同烹调加热方式处理后的油脂流变特性。

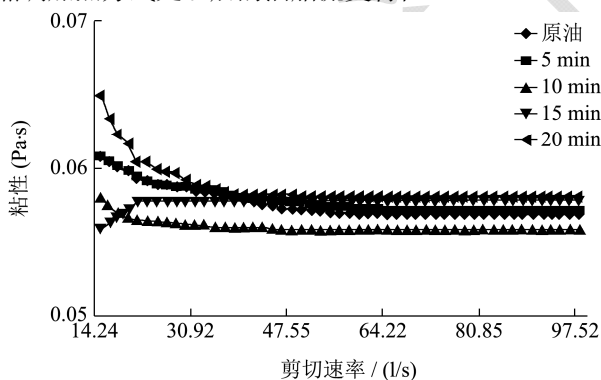


图 6 100 °C 处理组的流变曲线

Fig.6 Rheological curves of 100 °C treatment group

经 100 °C、200 °C、300 °C、微波加热处理后的调和油流变曲线分别见图 6~9。从图中可以明显发现经加热处理后的调和油, 其流变特性不随剪切速率的变化而发生改变。但经不同条件处理后, 油脂的粘性发生了很大的改变。在 100 °C 加热条件下, 处理 10 min 的油脂粘性最小, 20 min 的最大; 在 200 °C 加热条件下, 处理 15 min 的油脂粘性最小, 20 min 的最大,

其他处理时间的油脂粘性与原油相似; 在 300 °C 加热条件下, 处理 5 min 的油脂粘性最小, 依然是 20 min 的最大; 而经微波加热处理后的油脂粘性, 5 min 时最小, 20 min 时最大, 这与传统方式 300 °C 加热时的油脂粘性变化相同。

分析发现, 经不同加热条件处理后的油脂, 其粘性变化虽经历了不同过程, 但均在 20 min 时间点处达到最大观测值, 说明油脂可能在加热后期由于脂肪酸发生氧化、水解、聚合等过程, 导致了油脂粘性的升高。

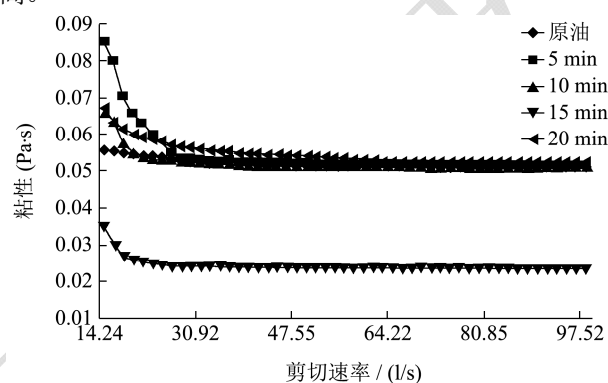


图 7 200 °C 处理组的流变曲线

Fig.7 Rheological curves of 200 °C treatment group

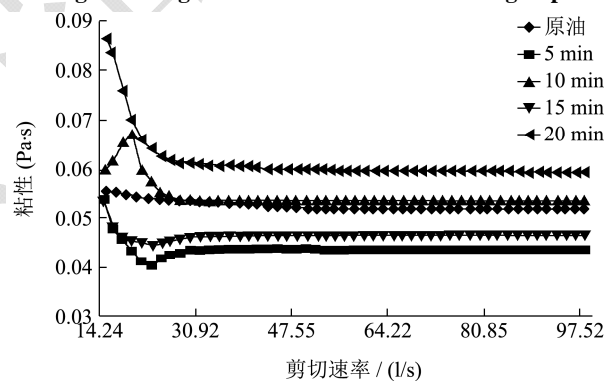


图 8 300 °C 处理组的流变曲线

Fig.8 Rheological curves of 300 °C treatment group

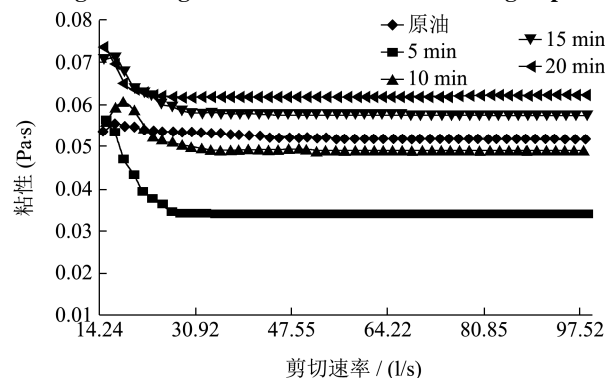


图 9 微波加热组的流变曲线

Fig.9 Rheological curves of microwave heating group

将调和油经过热处理后的粘稠度与加热时间建立相关关系, 其粘稠度随加热时间的变化见图 10。在这

过程中, 油脂经 100 °C 处理, 其粘稠度随加热时间的延长变化不明显, 各时间点的粘稠度近乎在相同水平状态; 经 200 °C 处理时, 在 10 min 时间点处有水平转为下降趋势, 并在 15 min 时间点转为上升趋势, 可能是油脂组分受热水解程度大于受热聚合所造成的; 在 300 °C 处理时, 油脂呈现上下波动状态, 最终高于原油的粘稠度, 5 min 时间点粘稠度下降可能是由于油脂中分子量较小的组分热水解程度大于热聚合, 15 min 时间点的下降趋势可能是大分子量的组分发生热水解的程度大于热聚合所造成的, 提示与 200 °C 处理组相比, 油脂组分受热水解程度大于热聚合的时间点有所提前, 而且温度越高、时间越长油脂受影响的组分越显著。

而微波加热组相比传统烹调方式, 在 5 min 时间点由下降趋势转为平缓上升趋势, 但综合考虑观察时间内的粘稠度下降与上升趋势均比传统烹调方式显著。

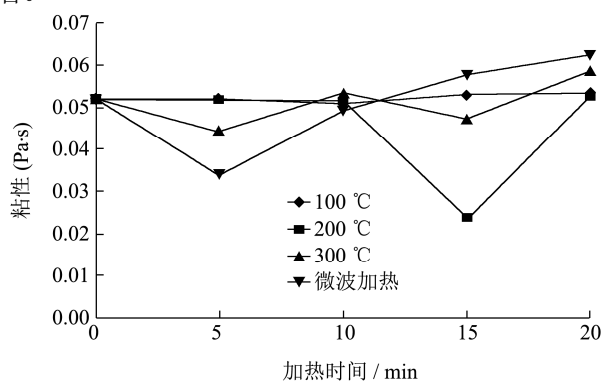


图 10 油脂粘稠度随加热时间的变化

Fig.10 Change of grease viscosity with heating time

### 2.4.3 不同贮存条件对调和油流变特性的影响

依据 2.4.1 的实验结果, 选择在 25 °C 测定经过不同贮存条件处理后的油脂流变特性。

经 45 °C 恒温贮存、室外自然光照条件下贮存的调和油流变曲线分别见图 11~12。从图中可以明显发现经贮存处理后的调和油, 其流变特性也不随剪切速率的变化而发生改变。但经不同条件处理后, 油脂的粘性也发生了很大的改变。在 45 °C 恒温贮存条件下, 油脂粘性均大于原油, 处理 42 d 的油脂粘性最大; 而自然光照处理过的油脂粘性变化与 45 °C 处理相似, 但变化幅度明显增大。可能是自然光照对油脂氧化过程影响程度相比 45 °C 加热较大, 从而导致油脂粘性随着氧化进程的不断而呈现出不同幅度升高。

将调和油经过 45 °C 恒温避光贮存与自然光照处理后的粘稠度与时间建立相关关系, 其粘稠度随贮存时间的变化见图 13。

在这过程中, 模拟油脂贮存条件: 加热与自然光

照两个因素时, 自然光照组的油脂粘稠度始终高于高温贮存组, 且两者粘稠度都随贮存时间的增加而增加。

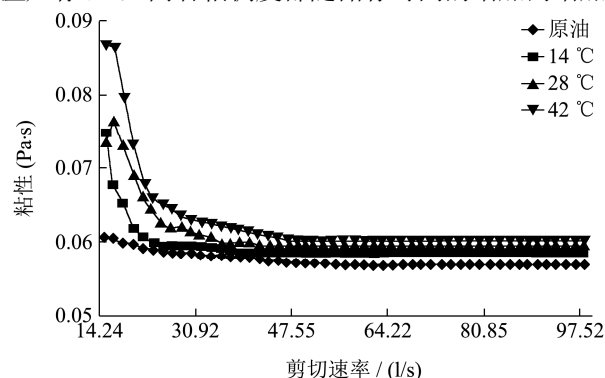


图 11 45 °C 恒温贮存组的流变曲线

Fig.11 Rheological curves of a 45 °C constant temperature storage group

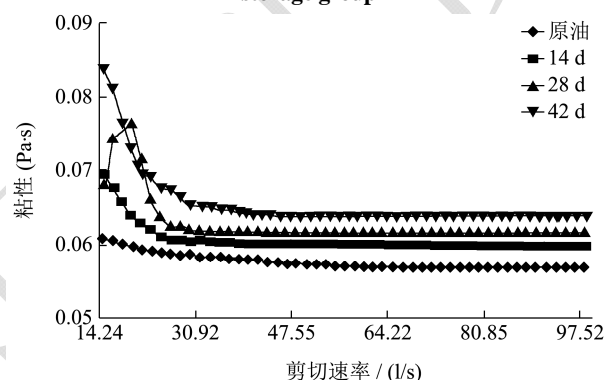


图 12 自然光照贮存组的流变曲线

Fig.12 Rheological curves of a natural light storage group

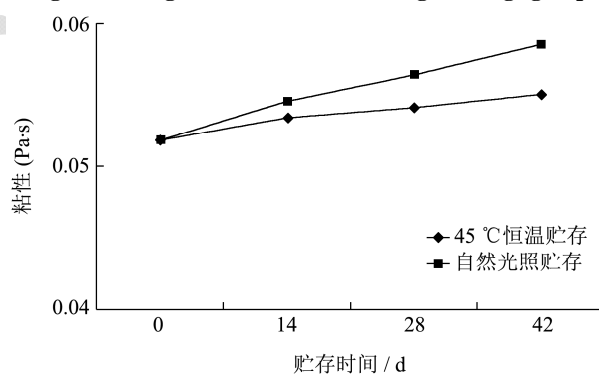


图 13 油脂粘稠度随贮存时间的变化曲线

Fig.13 Curve of change in viscosity of grease with storage time

## 3 结论

3.1 不同的烹调和储藏方式对调和油的品质影响是不同的。调和油的酸价、过氧化值均随温度的升高与时间的延长而呈现不同幅度的上升, 其中, 烹调因素以 300 °C 高温对油脂氧化影响度最大, 贮存因素以自然光照对油脂氧化程度影响度最大, 但都没有超过国家食用植物油规定的卫生标准限值<sup>[15]</sup>。处理时间和处理温度、热处理方式以及光照对脂肪酸含量都有影



响。不同温度下,相同的处理时间范围,同种脂肪酸含量的变化规律也不尽相同。当处理时间相同时,同种脂肪酸含量随处理温度的变化趋势也是不同的。调和油脂的粘稠度均随温度的升高而降低;温度一定时,其粘稠度不随着剪切速率的改变而改变,不呈现剪切稀化趋势。处理后的油脂粘稠度随剪切力的变化特点尤以 200 ℃变化明显,提示油脂在 200 ℃烹调时油脂组分受热水解程度大于热聚合程度所造成的粘稠度明显下降,并且随着温度的升高,热水解大于热聚合的时间点明显提前,总体来说,不同处理后的油脂均显示其粘稠度受加热的影响而呈现不同幅度的上升。而在不同贮存条件处理后的油脂,其粘稠度亦呈现升高趋势,综合不同加热与贮存条件处理后的油脂粘稠度变化,其随油脂氧化程度的加深而升高。

3.2 综上所述,传统烹调方式较微波加热、光照贮存较高温避光对油脂品质影响大,植物调和油烹调温度尽量不高于 200 ℃,微波加热时间控制在 10 min 内,并避光、低温贮存,以降低油脂氧化程度,保证油脂品质,保障人体健康。

## 参考文献

- [1] 周慧娟,刘水平,易想炼,等.不同种类高膳食油脂对小鼠血脂,肝脂及尿酸的影响[J].现代食品科技,2018,34(5):8-13  
ZHOU Hui-juan, LIU Shui-ping, YI Xiang-lian, et al. Effects of different kinds of high dietary oil on the blood lipid, liver fat and uric acid in mice [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(5): 8-13
- [2] 杨波涛,谢黔岭.一种脂肪酸比例合理的植物调和油:CN 2003[P].2003-10-15  
YANG Bo-tao, XIE Qian-ling. A plant blending oil with reasonable fatty acid ratio: CN 2003 [P]. 2003-10-15
- [3] 潘红红.食用植物油脂品质监测及预警指标的研究[D].成都理工大学,2012  
PAN Hong-hong. Detection of edible vegetable oil quality and study of warning indicators [D]. Chengdu University of Technology, 2012
- [4] 孙长灏.营养与食品卫生学[M].北京,人民卫生出版社.2015:55-62  
SUN Chang-hao. Nutrition and Food Hygiene [M]. Beijing, People's Medical Publishing House, 2015: 55-62
- [5] GB 5009.229-2016,食品安全国家标准,食品中酸价的测定[S]  
GB 5009.229-2016, National Food Safety Standard Determination of Acid Value in Foods [S]
- [6] GB 5009.227-2016 食品安全国家标准,食品中过氧化值的测定[S]  
GB 5009.227-2016, National Food Safety Standard Determination of Peroxide Value in Foods [S]
- [7] GB 5009.168-2016 食品安全国家标准,食品中脂肪酸的测定[S]  
GB 5009.168-2016, National Food Safety Standard Determination of Fatty Acids in Foods [S]
- [8] 张磊,余筱洁,周存山,等.扫频超声波提取对花生油脂氧化和流变特性的影响[J].现代食品科技,2017,33(8):228-234  
ZHANG Lei, YU Xiao-jie, ZHOU Cun-shan, et al. Effects of sweeping ultrasonic extraction on oxidation and rheological properties of peanut oil [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(8): 228-234
- [9] 付定平,郭超.不同储藏温度下花生仁过氧化值和酸值变化[J].粮食科技与经济,2016,41(5):57-59  
FU Ding-ping, GUO Chao. Changes in peroxidation and acid value of peanut kernels at different storage temperatures [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(5): 57-59
- [10] 杨滢,陈奕,张志芳,等.油炸过程中 3 种植物油脂脂肪酸组含量及品质的变化[J].食品科学,2012,33(23):36-41  
YANG Ying, CHEN Yi, ZHANG Zhi-fang, et al. Changes in the content and quality of fatty acids in three plant oils during frying [J]. Food Science, 2012, 33(23): 36-41
- [11] 张雅娜,王妍,王欢,等.加热对大豆油品质特性的影响[J]食品工业科技,2013,34(23),77-83  
ZHANG Ya-na, WANG Yan, WANG Huan, et al. Effects of heating on the quality characteristics of soybean oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(23): 77-83
- [12] 李一凡,王凤玲,王玉玮,等.加热对亚麻籽油中脂肪酸种类和含量的影响[J].食品研究与开发,2017,38(1):10-13  
LI Yi-fan, WANG Feng-ling, WANG Yu-wei, et al. Effects of heating on the types and contents of fatty acids in flax seed oil [J]. Food Research and Development, 2017, 38(1): 10-13
- [13] 魏小豹,韦莹莹,薛璟祺,等.高温加热对牡丹籽油脂肪酸和理化性质的影响[J].食品科学,2018,39(3):15-20  
WEI Xiao-bao, WEI Ying-ying, XUE Jing-qi, et al. Effects of high temperature heating on fatty acids and physicochemical properties of peony seed oil [J]. Food Science, 2018, 39(3): 15-20
- [14] 丁俭,齐宝坤,王立敏,等.5 种不同植物油脂氧化程度与脂肪酸比例变化的相关性研究[J].中国粮油学报,2017,32(8):84-91  
DING Jian, QI Bao-kun, WANG Li-min, et al. Study on the correlation between oxidation degree and fatty acid ratio of

---

five different vegetable oils [J]. Journal of the Chinese  
Cereals and Oils Association, 2017, 32(8): 84-91

GB 2716-2005, Sanitary Standards for Edible Vegetable Oils  
[S]

[15] GB 2716-2005,食用植物油卫生标准[S]

现代食品科技